

KAJIAN SIFAT FISIK LAHAN GAMBUT DALAM HUBUNGAN DENGAN DRAINASE UNTUK LAHAN PERTANIAN

Nora H. Pandjaitan¹ dan Soedodo Hardjoamidjojo¹

X

PENDAHULUAN

Kajian tentang tanah gambut banyak dilakukan dalam rangka usaha pengembangan lahan gambut sebagai lahan pertanian. Penelitian yang mendasar tentang gambut, khususnya sifat gambut tropika di Indonesia masih sangat terbatas. Pengetahuan tentang sifat gambut tropika sangat penting karena selain sifatnya yang sangat khusus, data tersebut diperlukan apabila ingin mengembangkan lahan gambut sebagai lahan pertanian.

Lahan gambut sebenarnya cukup potensial untuk dijadikan lahan pertanian, dengan syarat adanya perbaikan yang cukup intensif untuk mengubah kondisi alamiahnya menjadi bentuk lahan pertanian yang menguntungkan. Penguasaan serta pengelolaan air merupakan kunci keberhasilan program pengembangan daerah rawa, khususnya rawa gambut. Dalam proyek-proyek pengembangan lahan gambut perencanaan, pengelolaan dan pengembangan sumberdaya air selama ini belum banyak mendapat perhatian. Hal yang mendasar dalam pengelolaan lahan rawa gambut adalah sistem drainase. Drainase diperlukan dengan tetap menjaga muka airtanah pada batas yang optimum, untuk mendukung

pertumbuhan tanaman (Andriesse, 1988), serta harus dilakukan secara sangat berhati-hati. Saluran drainase (pembuang) harus terpisah dari saluran pemberi dan merupakan suatu pasangan yang harus selalu berdampingan.

Drainase yang berlebihan dapat menyebabkan gambut menjadi kering dan tidak mampu menyerap air kembali, karena adanya sifat kering tidak balik (*irreversible drying*) pada bahan gambut. Andriesse (1988) menyatakan bahwa proses kering tidak balik dapat di hubungkan dengan kerapatan lindak tanah (*bulk density*). Kering tidak balik dapat terjadi pada gambut dengan kerapatan lindak yang rendah, sedangkan gambut dengan kerapatan lindak yang tinggi relatif mudah menyerap air kembali.

Beberapa teori dikembangkan dalam menerangkan proses kering tidak balik. Coulter (1957, dalam Andriesse, 1988) menyatakan bahwa adanya sifat hidrophobik bahan gambut kering mengandung mantel resin (*resinous coating*) diduga menghalangi penyerapan air. Akan tetapi teori ini diragukan, karena dari penelitian Driessen dan Rochimah (1977) pada tanah gambut Indonesia tidak ditemukan adanya mantel resin tersebut. Lucas (1982) menyatakan

¹ Laboratorium Teknik Tanah dan Air, Jurusan Teknik Pertanian FATETA-IPB

bahwa asam dari gambut yang mengalami humifikasi menunjukkan sifat resisten terhadap pembasahan kembali gambut yang dikeringkan, karena adanya gugus karboksil dan hidroksil phenolat disamping kandungan lignin yang tinggi. Tscapek *et al.* (1972) menyatakan bahwa gugus radikal (CH_2 , CH_3) bersifat hidrofobik sehingga dapat menolak air (*water repellent*).

Teori-teori diatas berhubungan dengan sifat-sifat senyawa humik yang merupakan hasil dekomposisi dari bahan gambut, serta mungkin dapat diduga bahwa setiap fraksi senyawa humik akan memperlihatkan perbedaan pengaruhnya terhadap sifat hidrofobik bahan gambut, karena komposisi kimia fraksi-fraksi dalam senyawa humik sangat bervariasi. Stevenson (1994) menyatakan bahwa tiap-tiap fraksi senyawa humik (asam humik, fulvik, dan lain-lain) tersusun dalam suatu seri molekul yang mempunyai ukuran berbeda, serta kecil kemungkinan memiliki konfigurasi struktur atau urutan gugus reaktif yang sama.

Hal yang penting untuk diketahui juga untuk menjelaskan proses kering tidak balik adalah pada tingkat kandungan air berapa proses kering tidak balik tersebut dapat terjadi. Proses ini merupakan proses fisik gambut yang lemah dalam kemampuannya menyerap air kembali, sehingga merupakan fungsi dari kadar air yang terkandung dalam bahan gambut.

PENGERTIAN, PEMBENTUKAN, DAN KLASIFIKASI GAMBUT

Tanah gambut adalah tanah yang secara dominan tersusun dari sisa-sisa jaringan tumbuhan (Subagyo *et al.*, 1996). Tanah gambut terbentuk karena laju penumpukan bahan organik jauh lebih besar daripada proses dekomposisinya, sehingga bahan organik berakumulasi makin tebal sampai suatu saat mengalami keseimbangan dengan lingkungan sekitarnya (Bell, 1992).

Secara umum, gambut terbentuk di dataran rawa, berupa aluvium yang diendapkan pada suatu kawasan yang lingkungannya bersifat salin atau payau, yang biasanya berada di laut dangkal. Bahan induk ini kaya akan sulfur karena bercampur pada keadaan salin atau payau, baik yang berasal dari bahan mineralnya maupun dari bahan organiknya. Adanya proses kimia, fisika, serta biologis menyebabkan tanah-tanah yang terbentuk mengandung pirit. Kandungan pirit ini berbahaya bagi tanaman apabila teroksidasi, tetapi tidak berbahaya dalam keadaan reduksi, yaitu berada di bawah muka air.

Tanah gambut dapat terbentuk di daerah rawa pasang surut maupun di daerah pedalaman yang tidak dipengaruhi oleh air pasang surut. Di daerah rawa yang selalu tergenang air proses penimbunan bahan organik lebih cepat daripada proses dekomposisinya, karena itu terjadi akumulasi bahan organik. Rawa-rawa di Indonesia terbentuk sekitar 5000 tahun yang lalu. Saat itu terjadi *transgresi* air laut (muka air laut naik) akibat mencairnya es di kutub,

sehingga pada saat *regresi* (muka air laut turun) banyak daerah-daerah sekitar pantai Sumatera, Kalimantan, serta Irian Jaya tergenang menjadi rawa (Hardjowigeno, 1996). Pembentukan tanah gambut di beberapa daerah di Sumatera dan Kalimantan terjadi antara 2000-6830 tahun yang lalu.

Klasifikasi lahan rawa sehubungan dengan kondisi hidro-topografinya dilakukan sebagai berikut (sesuai Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan, (Puslittanak, 1993):

- katagori A: lahan dapat diairi melalui air pasang, baik pada waktu pasang besar (*spring tide*) maupun pasang rendah (*neap tide*), pada Musim Hujan (MH) maupun Musim Kering (MK);
- katagori B: lahan dapat diairi selama pasang besar saja dan berlangsung antara 6-8 kali dalam satu tahun;
- katagori C: lahan tidak dapat diairi secara reguler melalui air pasang, namun air tanah dapat dikendalikan pada kondisi muka air tanah atau pada zona perakaran;
- katagori D: lahan tidak dapat diairi melalui air pasang, dan air tanah sering berada jauh dibawah zona perakaran (> 70 cm dibawah permukaan tanah.

Tanah gambut menurut definisi dari Sistem Klasifikasi Tanah dalam Taksonomi Tanah, di klasifikasikan kedalam Ordo Histosol (*histos*, *tissue* = jaringan) yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Soil Survey Staff, 1994):

- a. mengandung 18% atau lebih C-organik jika fraksi mineralnya mengandung 60% atau lebih liat;

- b. mengandung 12% atau lebih C-organik jika fraksi mineralnya tidak mengandung liat;

- c. jika kandungan liatnya antara 0-60%, maka kandungan C-organik terdapat antara 12-18%.

Andriesse (1988) memberikan sistem klasifikasi tanah gambut yang di dasarkan pada enam karakterisitik dasar, yaitu:

- a. topografi dan geomorfologi: berhubungan dengan aspek *landscape*, sehingga dikenal adanya gambut *low moor* (dataran rendah), *transitional moor* (daerah transisi), dan *high moor* (dataran tinggi);
- b. vegetasi permukaan: sering dihubungkan pada keperluan manajemen, terutama pada saat reklamasi lahan yang menyangkut biaya pembukaan lahan gambut;
- c. vegetasi asli yang membentuk gambut: dihubungkan dengan bahan gambut yang berasal dari jenis vegetasi tertentu yang membentuknya, sehingga dikenal adanya gambut yang berasal dari lumut (*moss peat*), rumput-rumputan (*saw-grass peat*), tanaman dari famili Cyperaceae (*Cyperaceae peat*), dan tanaman hutan (*forest* atau *woody peat*);
- d. sifat kimia gambut: dihubungkan dengan pengaruhnya pada karakteristik kimia lingkungannya, terutama menyangkut tingkat kesuburan gambut, sehingga dikenal istilah *eutrophic* (kesuburan tinggi), *mesotrophic* (kesuburan sedang), dan *oligotrophic* (kesuburan rendah);
- e. sifat fisik gambut: dihubungkan dengan tingkat dekomposisi bahan gambut, seperti tingkat fibrik

(kandungan bahan organik $> 2/3$), hemik (kandungan bahan organik $1/3 - 2/3$), dan saprik (kandungan bahan organik $< 1/3$);

- f. proses genesis gambut: dihubungkan dengan iklim yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan gambut, sehingga dikenal istilah gambut daerah tropika (*tropical peat*), dan gambut daerah sedang (*temperate peat*).

Identifikasi gambut di lapang, khususnya di Indonesia, dibedakan berdasarkan ketebalan gambutnya yaitu:

- tanah bergambut; ketebalan gambut < 50 cm;
- gambut dangkal; ketebalan gambut 51-100 cm;
- gambut sedang; ketebalan gambut 101-200 cm;
- gambut agak dalam; ketebalan gambut 201-300 cm; dan
- gambut dalam; ketebalan gambut > 300 cm.

SIFAT FISIK TANAH GAMBUT

Sifat fisik gambut sangat penting didalam usaha reklamasi dan pengelolaan air pada tanah gambut. Kajian sifat fisik gambut sangat berhubungan dengan aspek mekanika tanah (*soil mechanic*), keteknikan tanah (*soil engineering*), serta konservasi gambut (*peat conservation*). Masalah penurunan muka tanah (*soil subsidence*), pengeringan bahan gambut, dan erosi (khususnya erosi air) merupakan contoh betapa pentingnya usaha mempelajari sifat fisik tanah gambut terutama pengelolaan air, agar pengusahaan lahan gambut sebagai lahan pertanian dapat lestari.

Andriesse (1988) menyebutkan beberapa hal yang penting untuk dibahas dalam mempelajari sifat fisika tanah gambut, yaitu antara lain: retensi air (*water retention*), ketersediaan air (*water availability*), konduktivitas hidrolis (*hydraulic conductivity*), kapasitas menahan air (*water holding capacity*), kerapatan lindak (*bulk density*), porositas (*porosity*), kering tak balik (*irreversible drying*), serta sifat basah dan kering.

A. Retensi Air

Gambut mempunyai daya menahan air yang sangat besar, dimana dalam kondisi jenuh kandungan air gambut dapat mencapai 4,5-30% berat kering gambut. Oleh karena itu, di daerah pasang surut dimana terdapat kubah gambut (*peat dome*), akan merupakan reservoir yang sangat efisien (Subagyo *et al.*, 1996). Berdasar tingkat dekomposisi bahan gambut, maka gambut fibrik mempunyai kandungan air sebesar 850-3000% setiap bahan kering oven, gambut hemik sebesar 450-850%, dan gambut saprik sebesar kurang dari 450%.

Dyal (1960, dalam Andriesse, 1988) menggambarkan sifat retensi air tanah gambut sesuai tingkat dekomposisinya serta pada tegangan yang berbeda seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat retensi air tanah gambut berdasar tingkat dekomposisi pada berbagai tegangan

Retensi air (%)	Tingkat Dekomposisi Bahan Organik		
	Fibrik	Hemik	Saprik
1/10 bar	570	193	163
1/3 bar	378	150	144
15 bar	67	84	100

B. Ketersediaan Air

Informasi tentang jumlah air yang di retensi oleh tanah sangat penting bagi pengelolaan usaha pertanian. Secara umum, air yang diretensi tanah yang dapat dipergunakan untuk tanaman (air tersedia bagi tanaman) adalah antara kapasitas lapang (*field capacity*) pada pF 2,2 (0,33 bar) dengan titik layu permanen (*permanent wilting point*) pada pF 4,2 (15 bar). Untuk tujuan pengelolaan, ada perbedaan antara tanah mineral dengan tanah organik (Andriesse, 1988), yaitu:

- volume bahan padatan tanah pada tanah organik sangat kecil dibandingkan pada tanah mineral;
- pada tekanan yang rendah, tanah organik mempunyai jumlah retensi air yang besar dibanding tanah mineral.

C. Konduktivitas Hidrolik

Dalam mempelajari drainase tanah, sangat penting untuk mengetahui laju pergerakan air melalui tanah. Konduktivitas hidrolik tanah gambut dipengaruhi berbagai faktor (Boelter, 1974 dalam Andriesse, 1988), antara lain:

- jenis bahan gambut;
- tingkat dekomposisi; dan
- kerapatan lindak.

Suprptoahardjo dan Driessen (1976) menyatakan bahwa konduktivitas hidrolik pada tanah gambut di Indonesia sangat cepat pada arah horisontal, tetapi sangat lambat pada arah vertikal. Hal ini disebabkan karena adanya air bawah tanah yang menghambat gerakan air vertikal.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa gambut pada tingkat dekomposisi fibrik mempunyai konduktivitas hidrolik yang sangat cepat, sebaliknya pada gambut yang telah terdekomposisi sempurna, pergerakan airnya sangat lambat dengan menurunnya ruang pori bahan gambut serta besarnya retensi air pada bahan saprik (Andriesse, 1988).

D. Kapasitas Menahan Air

Jumlah air yang ditahan tanah merupakan fungsi dari tinggi air tanah. Kapasitas menahan air dari tanah gambut dapat dinyatakan dalam berat air per satuan berat kering bahan. Kapasitas menahan air tanah gambut berbeda-beda, tergantung tingkat dekomposisinya. Berat air yang ditahan bahan fibrik sekitar dua kali lebih banyak daripada yang ditahan bahan saprik. Tabel 2 memperlihatkan kandungan air pada berbagai satuan untuk beberapa tingkat dekomposisi dan jenis bahan gambut (Lucas, 1982).

E. Kerapatan Lindak

Kerapatan lindak (*bulk density*) merupakan suatu sifat penting, karena banyak sifat-sifat fisika lainnya berhubungan dengan kerapatan lindak. Tanah gambut mempunyai

Tabel 2. Berat kering dan kandungan air pada berbagai satuan untuk beberapa tingkat dekomposisi dan jenis bahan gambut yang jenuh.

Satuan	Sphagnum	Fibrik reed-sedge	Reed-sedge terdekomposisi	Humu
Berat gambut (g/l)	88	160	240	3
Kandungan air (g/l)	930	890	835	7
Total berat (g/l)	1018	1050	1075	11
Kandungan air (% berat basah)	91	85	78	
Kandungan air (% berat kering)	970	554	346	2

kerapatan lindak yang sangat rendah, yaitu kurang dari 0,10 gr/cc untuk gambut fibrik, dan 0,20 gr/cc untuk gambut saprik. Driessen dan Rochimah (1976) menentukan kerapatan lindak untuk beberapa sekuen gambut dengan perbedaan kondisi wilayah di daerah Sebangau dan Durian Rasau, Kalimantan Barat dengan variasi antara 0,09-0,23 gr/cc.

F. Porositas

Porositas tanah gambut sangat menentukan pergerakan air tanah. Gambut fibrik mempunyai laju pergerakan air tanah yang tinggi karena memiliki pori yang besar. Porositas gambut ditetapkan dengan rumus:

$$\text{Porositas (\%)} = [100 (SD - BD)] / SD \quad (1)$$

Dimana:

SD = berat jenis bahan; dan

BD = kerapatan lindak.

Driessen dan Rochimah (1976) menghitung total porositas gambut di Indonesia dengan menggunakan parameter untuk gambut, dan menyimpulkan bahwa total porositas ditentukan oleh kerapatan lindak dan berat jenis bahan. Tabel 3 memperlihatkan

perhitungan total porositas (% volume) untuk gambut tropika.

Tabel 3. Perhitungan total porositas (% volume) untuk gambut tropika

BD (gr/cc)	Fibrik	Hemik	Saprik
0,10	92,3	92,9	93,3
0,15	88,5	89,3	90,0
0,20	84,6	85,7	86,7
0,25	80,8	82,1	83,3

G. Kering Tidak Balik

Kering tidak balik (*irreversible drying*) terjadi setelah periode intensif pengeringan atau drainase yang berlebihan, dan ini merupakan sifat yang khas dari semua jenis tanah gambut. Lapisan permukaan tanah gambut yang di reklamasi dan rawa gambut yang didrainase secara berlebihan akan menunjukkan kelakuan kering tidak balik. Setelah terkena sinar matahari yang lama, bahan gambut juga akan sukar untuk basah kembali. Hal ini akan mengakibatkan cekaman (*stress*) bagi tanaman (Andrisse, 1988).

TUJUAN PENGELOLAAN AIR

Ada berbagai faktor yang menentukan keberhasilan budidaya pertanian di lahan rawa gambut. Salah satu factor tersebut adalah masalah pengelolaan air. Karakteristik fisik lahan (hidrotopografi) dan tingkat kematangan lahan menentukan besarnya peran tata air. Dalam perencanaan system jaringan pengairan (termasuk bangunan hidrolik) dikenal pengelolaan air pada tingkat makro dan pada tingkat mikro.

Pengelolaan air pada tingkat makro:

Kegiatan ini meliputi pengelolaan jaringan pada tingkat proyek (project level) dan kaitannya dengan kondisi batas (boundary condition) dari muka air atau debit air di sungai

Pengelolaan air pada tingkat mikro:

Kegiatan ini mencakup pengelolaan air di tingkat lahan usaha tani, dimana pengelolaan air terkait erat dengan pengelolaan tanah (soil and water management). Pengelolaan air pada tingkat mikro terutama untuk memenuhi kebutuhan tanaman, selain juga untuk mencegah terjadinya penurunan muka tanah (soil subsidence), perlindungan terhadap lapisan gambut mencegah teroksidasinya pirit dan untuk transportasi.

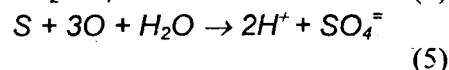
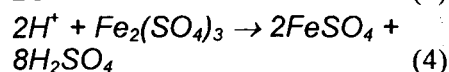
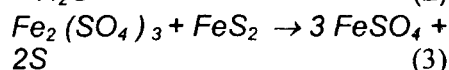
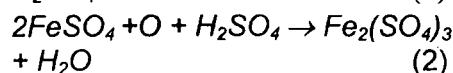
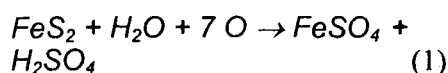
PROSES OKSIDASI DAN PENCEGAHANNYA

Di lahan rawa gambut yang ditanami padi, tanaman sering mengalami keracunan besi di samping beberapa kendala lainnya. Hal ini menyebabkan penurunan hasil padi dari musim sebelumnya. Hasil pengamatan menunjukkan kondisi ini disebabkan karena telah terjadinya

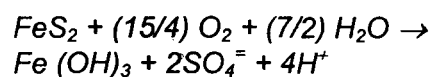
oksidasi pirit ketika air tanah turun jauh di bawah lapisan pirit dalam waktu yang cukup lama, antara lain saat musim kemarau panjang atau akibat drainase yang berlebihan. Air menjadi masam dan karatan meluas, selain itu gulmapun meluas dan sering menutupi saluran.

a. Proses oksidasi dan pemasaman

Berbagai proses berlangsung dalam oksidasi pirit yang dapat diringkas dalam beberapa reaksi berikut:

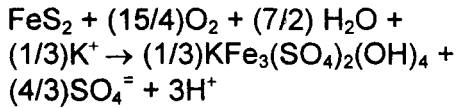


Reaksi (1), (3) dan (4) adalah reaksi kimia, sedang reaksi (2) dan (5) adalah reaksi biokimia. Pada reaksi (2) mikroorganisme *Theobacillus ferroxidans* berperan sebagai katalisator reaksi, sedang pada reaksi (5) *Thio-oxidans* mengoksidasi S yang dihasilkan pada reaksi (3). Oksidasi pirit membuat tanah menjadi sangat masam, bahkan pH tanah dapat mencapai < 3,5. Pemasaman maksimum terjadi bila semua ion besi dioksidasi dan dihidrolisis menjadi ferri-hidroksida



Setiap molekul melepas 4 ion H⁺, tetapi biasanya tidak berlangsung sampai tuntas. Pembentukan jarosit

mengurangi jumlah ion H^+ yang dilepas:



Penurunan pH akibat pirit teroksidasi disangga oleh tanah itu sendiri melalui beberapa proses, yaitu: (1) Pembentukan jarosit; (2) Penetralkan oleh mineral hijau; (3) Reaksi pertukaran dengan kation basa pada kompleks jerapan; dan (4) Penetralkan oleh bahan kapur dalam tanah (misalnya kulit kerang). Khusus untuk zona lahan pasang surut payau, penetralkan juga terjadi oleh luapan atau intrusi air laut. Tingkat keseriusan permasalahan yang berkaitan dengan kemasaman tanah tidak saja tergantung pada jumlah pirit dan bahan penetral dalam tanah, tetapi juga pada kecepatan mobilisasi penetral dan kecepatan proses pemasaman.

Pembentukan asam sulfat yang melewati daya sangga tanah menghancurkan kisi mineral liat, dan melepas banyak kation Al_3^+ kedalam larutan tanah. Kation asam Al_3^+ , Fe_3^+ dan H^+ mendesak dan menukar kation basa Ca_2^+ , Mg_2^+ dan K^+ dari kompleks jerapan. Air hujan dan drainase tidak saja mencuci asam, tetapi juga membawa serta kation-kation basa. Selain itu fosfat dan molibdat juga menjadi kurang tersedia karena diikat hidroksida Fe dan Al. Kegiatan bakteri pengikat N terhambat karena suasana yang sangat masam serta kurang tersedianya fosfat dan molibdat. Tanah juga menjadi miskin hara.

b. Pencegahan

Dalam keadaan anaerob, pirit itu stabil. Sebaliknya dalam keadaan aerob, pirit akan mudah mengalami oksidasi, melepaskan asam sulfat dan hidroksida besi. Hal ini terjadi bila air tanah turun jauh di bawah batas atas lapisan pirit (misalnya karena *overdrained*) untuk waktu yang cukup lama.

Sebenarnya *overdrained* terjadi bukan karena saluran drainase yang dalam (dan lebar), tetapi karena saluran tersebut tidak atau belum dilengkapi bangunan pintu air, atau pintu airnya tidak atau belum berfungsi. Saluran yang dalam akan memperlancar penggelontoran, membuang bahan beracun. *Overdrained* dapat dihindari dengan mengatur pintu-pintu air, sehingga tinggi permukaan air tanah dapat dipertahankan sedemikian rupa, sehingga lapisan pirit selalu anaerob. Dengan demikian pirit tidak teroksidasi, dan proses pemasaman tidak terjadi.

Dalam musim kemarau muka air tanah mungkin turun di bawah lapisan pirit. Untuk mencegah lapisan pirit mengalami keadaan aerob, maka harus diusahakan agar selalu ada air pada saluran tersier, kuarter atau batas pemilikan. Akan lebih baik lagi bila pada saluran keliling diusahakan ada air yang dalamnya 50 cm, walaupun air pada saluran hanya 10-15 cm. Upaya ini di samping dapat mencegah teroksidasinya pirit, juga membuka kemungkinan penanaman palawija, pada lahan dengan tipe luapan C, di musim kemarau tanpa resiko keke-
ringan.

MASALAH DRAINASE PADA LAHAN GAMBUT

Seperti telah dinyatakan terdahulu, agar lahan gambut dapat di manfaatkan sebagai lahan pertanian, diperlukan tindakan utama berupa perbaikan kondisi alamiahnya, yaitu dari kondisi tergenang menjadi kondisi yang muka air tanahnya sesuai untuk pertumbuhan tanaman yang diusahakan. Tindakan utama ini adalah berupa tindakan drainase.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam usaha drainase lahan gambut adalah:

- sifat kering tidak balik: apabila drainasenya berlebihan, maka akan terdjadi suatu keadaan kering tidak balik; gambut yang kering ini sangat rentan terhadap kebakaran;
- kedalaman pirit: dalam tindakan drainase, perlu diperhatikan kedalaman bahan pirit yang terkandung di dalam tanah gambut; apabila pirit muncul diatas permukaan air, maka akan terjadi oksidasi dan pirit menjadi racun bagi tanaman;
- cekaman kurang air bagi tanaman: daya kenaikan kapiler tanah gambut sangat rendah, oleh karena itu dalam usaha drainase perlu diperhatikan kedalaman perakaran tanaman yang di usahakan; apabila muka air tanah di turunkan sampai jauh berada dibawah daerah perakaran, maka akan terjadi akar tanaman tidak dapat menyerap air dan akan menjadikan tanaman mengalami cekaman (*stress*) kurang air.

DAFTAR BACAAN

- Andriesse, J.P. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soil. Soil Researches Management and Conservation Service. FAO Land and Water Development Division. Rome.
- Bell, F.G. 1992. Engineering Properties of Soils and Rocks. 3rd Ed. Butterworth, Heinemann.
- Boelter, D.H. 1974. The Hydrologic Characteristic of Undrained Organic Soil in Lake States. *In*: Histosols, their characteristics, classification, and use. Ed. M. Stelly. Soil Science Society of America. Special Publication no.6: 33-46.
- Driessen, P.M. and L.Rochimah. 1976. Physical properties of Lowland Peats from Kalimantan. *In*: Peat and Podzolic Soils and Their Potential for Agriculture in Indonesia. Proceedings, ATA. Midterm Seminar, Tugu. Oct.13-14, 1976. Soil Research Intitute, Bogor.
- Hardjowigeno, S. 1996. Pengembangan Lahan Gambut untuk Pertanian: Suatu Peluang dan Tantangan. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap, Faperta IPB.
- Lucas, R.E. 1982. Organic Soils (Histosol): Formation, Distribution, Physical, and Chemical dan Management for Crop Production.
- Sabiham, S. 1996. Studies on Peat in Coastal Plains of Sumatera and Borneo. Physiography and Geomorfology of Coastal Plains. Tonan Ajia Kenkyu (Asian Edition). Vol.26 no.3, Dec.1988.

- Soil Survey Staff. 1994. Keys to Soil Taxonomy. Pocahontas, Inc. Blacksburg. Virginia.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus: Chemistry, Genesis, Composition, and Reactions. 2nd Edition. John Wiley and Sons. New York.
- Subagyo, H., D.S. Marsoedi dan A.S. Karama. 1996. Prospek Pengembangan Lahan Gambut untuk Pertanian. Seminar Pengembangan Teknologi Berwawasan Lingkungan untuk Pertanian Lahan Gambut. Bogor, 26 September 1996.
- Tschapek, M., P. Ardizzi and S.G. de Bussetti. 1972. Wettability of Humic Acid and Its Salts. Z. Pflanzenernähr 135: 16-31